

# A Study on the Crustal Deformation in Northeastern Japan by Strain Tilt Observation (連続観測による東北地方の地殻変動に関する研究)

著者	中尾 茂
号	1212
発行年	1991
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/25162">http://hdl.handle.net/10097/25162</a>

氏名・（本籍）	なか お しげる 中 尾 茂
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理 博 第 1 2 1 2 号
学位授与年月日	平 成 3 年 3 月 28 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研 究 科 専 攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 地球物理学専攻
学位論文題目	A Study on the Crustal Deformation in Northeastern Japan by Strain and Tilt Observation (連続観測による東北地方の地殻変動に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 平 澤 朋 郎      教 授 浜 口 博 之 教 授 大 竹 政 和 教 授 長 谷 川 昭 助 教 授 山 本 清 彦

## 論 文 目 次

Acknowledgments

Abstract

Contents

Chapter1. General Introduction

1-1. Introduction

1-2. A Brief Review on Characteristics of Crustal Deformation Derived from Strain  
and Tilt Observations

1-3. A Brief Review on Temporal Variation in Amplitude of Earth Tides

1-4. Scope of This Study

## Chapter2. Preliminary Data Analysis and Characteristics of Strain and Tilt Changes

- 2-1. Introduction
- 2-2. Observation System
- 2-3. Characteristics of Strain and Tilt Change
- 2-4. Annual Changes in Strain and Tilt
- 2-5. Discussion

## Chapter3. Detection of Strain and Tilt Changes

- 3-1. Introduction
- 3-2. Detection Method
- 3-3. Results
- 3-4. Discussion

## Chapter4. Temporal Variations in Amplitude and Phase of Earth Tides

- 4-1. Introduction
- 4-2. Analysis Method
- 4-3. Characteristics of Temporal Variations in Amplitude and Phase of Earth Tides
- 4-4. Annual Changes in Amplitude and Phase of  $M_2$  Constituent
- 4-5. Discussion

## Chapter5. Conclusions

# 論文内容要旨

東北地方においては、石英管伸縮計と水管傾斜計による地殻変動連続観測が、1967年から東北大学により開始された。1983年以来、テクニクな地殻変動とくに地震の前兆現象の観測を目的として、東北日本地殻活動総合観測線が設置され、観測が強化されてきた。本研究では、地殻活動総合観測線で得られたデータの初期ノイズが安定した1984年から1990年の歪および傾斜データを用いて、地殻活動に関連した歪率および傾斜率の変化と地球潮汐の振幅・位相の時間変化について、詳細な検討を行なった。その目的は、観測された歪や傾斜の経年変化や地球潮汐の時間変化の特徴を調べることで、有意な地殻変動の検出のために地殻変動の観測データのS/N比を解明することである。さらに、潮汐傾斜で観測される年周変化の原因を明らかにすることも目的の一つである。

歪・傾斜変化の一般的特徴：観測された歪・傾斜変化には、降雨や融雪、気圧変化等の影響等が含まれている。その影響出現の特徴から、1) 降雨・融雪の影響が全成分に出現する観測点、2) 降雨・融雪の影響が一部の成分に出現する観測点、3) 融雪の影響のみが現われる観測点、4) 降雨の影響が回復しない観測点、に分類される。これらは観測点近傍の地下水、地形、地質構造などの弾性的あるいは非弾性的な応答の地域性によることを示している。

異常の即時的検出法（日値予測法）：観測された歪・傾斜変化には年周変化が卓越し、その振幅が $10^{-6}$ を上回っている観測成分もある。これは地球潮汐あるいは通常期待される地震の前兆現象の振幅よりも1桁から2桁も大きい。日値を用いて各年の同じ通算日のデータを平均することにより、平均的な年周変化（平年値）とその標準偏差を求める簡便な方法を提案した。この方法で得られた年周変化の平年値を観測データから差し引くことにより、歪・傾斜の経年変化を明瞭に把握できることを示した。さらにこの方法で得られる年周変化を除いたデータを用い、過去2年間の歪・傾斜率を一定と仮定して最小二乗法で求めた歪・傾斜率を外挿することにより、1日後の日値を予測する（日値予測法）。その予測値と観測値の差が年周変化の標準偏差の2倍を超えた場合には、観測値が異常であると判定する、という基準により、地殻変動の異常変化を検出する方法を提案した。この方法を歪観測データに適用した結果、1983年の日本海中部地震（マグニチュード7.7）の余震の急激な減少の時期（1986年頃）に対応して、仁別観測点の歪変化に異常が見いだされた。

統計的異常検出法：伸縮計や傾斜計の長期安定性はセンサーの応答変化、観測壕の変形、観測壕の近傍の岩石の非弾性変形とそれに起因する応答変化に左右されるため、その正確な把握は至難である。そのため、長期間にわたる歪・傾斜変化の絶対値を全期間で等質なデータとして議論することは適当でない。そこでここでは、歪・傾斜率の変化に着目し、地殻活動との関係を調べた。従来、歪・傾斜率の変化を目で読み取る主観的な方法が用いられてきた。本研究では統計的手法を用いて客観的に歪・傾斜率が変化した時期を区間推定する方法を提案した。これは対象となる時点を中心として過去側と未来側の年変化率の差が大きい時点をまず見いだ

す。次に、その差が過去2年間と未来2年間における年変化率のゆらぎに比較して有意か否かをt-検定により判定する。この判定基準により、統計的に有意な歪・傾斜率の変化が生じた可能性が高い期間を推定するという方法である。この方法を1984年から1990年までの歪・傾斜変化に適用した。歪率と傾斜率の変化が多く起こった1986年～1987年は、東北地方内陸と太平洋下の浅発地震や、やや深発地震の地震活動度が低下した時期に対応することが明らかとなった。本研究において、地殻変動の異常を検出する2つの方法を提案した。年周変化の標準偏差を基準に判定する日値予測法は、判定時期よりも過去のデータのみを用いるものであるから、異常値判定の即時的な方法として有効である。一方t-検定を利用する統計的な方法は、より長期間のデータから異常の有意性を判定するものであり、経年的な異常変化にたいする統計的に信頼できる検出方法である。

潮汐歪・傾斜の特徴：歪・傾斜データに含まれる地球潮汐の $M_2$ （周期12.4時間）分潮と $O_1$ （25.8時間）分潮について詳細に調べた。観測された潮汐歪および潮汐傾斜の振幅・位相と、固体潮汐と荷重潮汐を合成した理論潮汐のそれらと比較した結果、次のことが明らかになった。

1) 潮汐歪においては理論潮汐と観測潮汐の一致の程度は振幅よりは位相の方がよい。2) 理論潮汐と観測潮汐の一致は潮汐歪よりも潮汐傾斜の方がよい。(1)は有限要素法を用いた計算結果から判断すると、観測点近傍の地形、地質構造や観測壕の形状の影響によると考えられる。(2)の結果は有限要素法で見積られた潮汐傾斜に対する地形効果は歪潮汐に対する効果の数%であるという結果で解釈できる。これは上記の(1)に対する解釈を支持する。

潮汐振幅・位相の時間変化：地球潮汐歪・傾斜の振幅・位相の時間変化はダイラタンシーのような地殻内弾性定数の時間変化の情報を含んでいる。異常値判定基準を潮汐振幅および位相の平均値の95%信頼限界とすると、解析した全成分の半数以上で、振幅は10%、位相は10度以上の変化があれば異常値として検出できることが明らかとなった。理論計算によると観測点直下におけるP波速度の4%の減少が検出できることを示している。

潮汐傾斜の年周変化：BAYTAP-Gを用い、3か月のウィンドウを15日間ずつずらして地球潮汐振幅、位相の時間変化を解析した。その結果、 $M_2$ 分潮の振幅、位相に年周変化があることが明らかとなった。これは潮汐傾斜にとくに顕著であり、潮汐歪には見出されない。これを説明するために日本海と太平洋沿岸で観測された海洋潮汐を同様の手法で解析した。その結果、1)  $M_2$ 分潮の年周変化は太平洋側と日本海側で、振幅変化は逆位相であるが、位相変化は同位相である、2) 日本海と太平洋のそれぞれの沿岸で観測された海洋潮汐の $M_2$ 分潮の年周変化は観測地点間の相関がきわめて高い、ことが明らかとなった。このことは広域に現われる海洋潮汐が潮汐傾斜の年周変化の原因である可能性を示唆している。

年周変化の解釈：これを確かめるために、日本海と太平洋の海洋潮汐の年周変化の違いを考慮して、それから期待される地球潮汐の年周変化の計算を行なった。計算は北緯36°から43°、東経135°から150°の海域が沿岸で観測された海洋潮汐の年周と同様の年周変化を示すと仮定して行われた。理論的に計算した地球潮汐の年周変化の特徴は観測されたものと調和的である。と

くに日本海沿岸の男鹿観測点での理論的な年周変化と観測された年周変化は驚くほどよく一致している。このことから、傾斜の振幅の年周変化の主原因は海洋潮汐の年周変化であると結論される。しかし、他の観測点では観測された潮汐傾斜の年周の振幅は計算されたものよりも大きい。したがって、媒質の弾性的性質の変化により潮汐力に対する地殻の応答が年周変化し、それが観測された年周変化の原因の一部であるという可能性を、本研究によって完全に否定することはできない。今後、地形や地質構造等の観測点周辺の局所的な影響や、海岸からはなれた海域での海洋潮汐の年周変化の分布を正確に把握し、より詳細な検討を加える必要がある。

結論：1)ここで提案した日値予測法は地殻変動異常の即時的検出法として有効である。2)新しく開発した統計的手法を用いた結果から、東北地方における地殻変動の経年変化異常が地震活動とよく対応し、これらはともに広域の応力場を反映していると考えられる。3)地殻内の速度異常が4%以上であれば、その異常を地球潮汐の時間変化から検出可能である。4)傾斜データには  $M_2$  分潮の振幅と位相に顕著な年周変化が見られる。これは主として海洋潮汐の年周変化に起因している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、主として石英管伸縮計と水管傾斜計により1984年から1990年に観測された地殻変動データの全成分を用いて、東北地方の地殻活動に関連した歪率および傾斜率の変化と地球潮汐の振幅・位相の時間変化について、詳細な研究を行なったものである。

観測された歪・傾斜変化には年周変化が卓越し、その振幅が $10^{-6}$ を上回っている観測成分もある。これは地球潮汐あるいは通常期待される地震の前兆現象の振幅よりも1桁から2桁も大きい。そこで筆者は、平均的な年周変化（平年値）とその標準偏差を求める簡便な方法をまず提案した。この方法で観測データから年周変化を除去することにより、歪・傾斜の経年変化を明瞭に把握できることを示した。さらにこの方法を利用して、過去2年間の観測データから1日後の日値を予測する、日値予測法を開発し、これが異常検出の即時的モニターに有効であることを示した。一方、地殻変動の経年変化異常については、歪・傾斜率が増加した時期を区間推定する統計的手法を提案した。この方法を1984年から1990年までの歪・傾斜変化に適用し、歪率と傾斜率の変化が数多く見られる1986年～1987年は、東北地方内陸と太平洋下の浅発地震や稍深発地震の地震活動度が低下した時期に対応することを明らかにした。

歪計・傾斜計が記録する地球潮汐のうち、とくに周期12.4時間の $M_2$ 分潮と25.8時間の $O_1$ 分潮について詳細に研究した。観測された潮汐歪および潮汐傾斜の振幅・位相と、荷重潮汐も考慮した理論潮汐のそれらと比較した結果、観測点近傍の地形・地質構造や観測壕の形状の影響が潮汐歪の振幅にのみ強くあらわれていることを示した。さらに、傾斜計による $M_2$ 分潮の振幅・位相には顕著な年周変化が認められることを示した。これを説明するために、日本海と太平洋の沿岸で観測された海洋潮汐を解析した。その結果、 $M_2$ 分潮の振幅における年周変化は太平洋と日本海で逆位相であるのに対し位相におけるそれは同位相である、ことを見いだした。この海洋潮汐の結果を考慮して、それから理論的に期待される地球潮汐の年周変化を求め、観測結果と比較した。これにより、潮汐傾斜の年周変化の主要原因は海洋潮汐の年周変化にあると結論した。

以上のように、中尾茂提出の論文は東北地方の地殻変動の特性を地震活動と関連づけて明らかにするとともに、地殻変動異常の実用的な統計的検出手法を開発した。さらに、潮汐傾斜の年周変化が海洋潮汐のそれに起因していることも解明し、固体地球物理学に貴重な新知見を加えた。これは、同人が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって、中尾茂提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。